

УДК621.924*В.Т. ЛЕБЕДЬ***ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ И ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ СОСТАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Розглянуто технології відновлення великогабаритних виробів, які базуються на повторному використанні деталей, що відробили ресурс, складеного виробу. Викладені схеми відновлення виробів відповідно до запропонованої класифікації, яка враховує співвідношення геометричних параметрів.

There have been reviewed remanufacturing techniques for large-size products on the basis of compound products worn-out parts reuse. Products remanufacturing patterns are presented in accordance with suggested classification that considers geometrical parameters proportions.

Профильную номенклатуру продукции ряда предприятий тяжелого машиностроения СНГ (НKMЗ, УЗТМ, Ижорские заводы) составляет горнорудное, металлургическое, прокатное, кузнечно-прессовое и подъемно-транспортное оборудование. При этом до 30% номенклатуры приходится на составные крупногабаритные изделия [1].

Составные изделия (в частности, зубчатые колеса редукторов, прокатные валки, шпиндели прокатных клетей) по конструкции состоят из двух основных деталей, например, оси и бандажа валка, которые собраны термовоздействием по посадке с натягом.

Установлено, что после отработки номинального ресурса рабочие поверхности охватывающих деталей указанных изделий (бандажей, венцов, головок шпинделей) имеют незначительный объемный износ активного слоя. В большинстве случаев, общее состояние изделий позволяет рассматривать вопрос их повторном использовании. Установлено, что рациональным техническим решением восстанавливаемого изделия является изготовление новой охватывающей детали при сохранении в качестве повторно используемой - охватываемой. Возможно создание изделия и меньшего типоразмера путем кузнечно-прессового перекова изношенных деталей больших типоразмеров на новые заготовки требуемого размера.

В настоящее время вопросы восстановления крупногабаритных составных изделий с учетом всего ряда их типоразмеров рассмотрены недостаточно полно. Это касается, в частности, и моноблочных (цельнокованных или литых) изделий, которые отработали ресурс по рабочей поверхности или были выведены из эксплуатации вследствие дефектов.

Целью работы является выработка общих положений по созданию технологий восстановления крупногабаритных изделий ответственного назначения при соединении их натягом.

В соответствии с классификацией [2], имеется класс деталей с формой тела вращения, из которого целесообразно выделить новый класс: класс

крупногабаритных составных изделий, подразделенный на подклассы [3] по соотношению общей длины к наибольшему наружному диаметру изделия (L/D) в следующих диапазонах: с L до $1,0D$ включительно; с L - от $1,0D$ и до $5,0D$ включительно, и с L - свыше $5,0D$.

Согласно [4], в качестве классификационных признаков соединений составных изделий используются характеристики, определяющие их функциональное назначение и конструктивно-технологические свойства. Изучению подлежат конструкции, состоящие из двух основных деталей (охватываемой и охватывающей), а также те, у которых между бандажом и осью установлена третья деталь - промежуточная втулка (гильза), что имеет место, например, в прокатных валах.

Рассматриваемые виды соединений крупногабаритных составных изделий группируют по общим (постоянным) и переменным (дополнительным) признакам, которые являются приоритетными при изучении указанных деталей. Общими признаками признаны: габаритные размеры, масса и вид соединения (по методу его образования). Согласно техническим требованиям по условиям погрузки и крепления грузов [5] (при транспортировании изделий железнодорожным транспортом) установлен нижний весовой предел тяжелых деталей - не менее 20 т. К дополнительным признакам отнесено наличие у рассматриваемых изделий - постоянной по образующей базовой цилиндрической формы сопрягаемых поверхностей соединений с натягом. Типичными представителями изделий рассматриваемого класса в прокатном производстве являются зубчатые колеса редукторов приводов клетей, опорные валки клетей [2] и шпиндели линий клетей прокатных станов (табл. 1).

Мероприятия по восстановлению рассматриваемых изделий начинаются с оценки их массово-габаритных характеристик при последующем далее определении схемы восстановления, технологии изготовления (или «исправления») деталей, входящих в составное изделие и процесса их сборки. После корректирования и уточнения способа восстановления определяется объем ресурсосбережения в части материалов и энергоносителей. При этом в основу процесса их восстановления заложено обеспечение работоспособности восстанавливаемого изделия до уровня базового ресурса. Формат восстановления включает изготовление аналогичного типоразмера изделия относительно базовой конструкции или такого же изделия меньшего типоразмера.

Сборка (монтаж) основных деталей изделия выполняется термовоздействием при нагреве охватываемой детали (в частности, венца, бандаж или головок шпинделя) и определяется их числом в соединении – одна, две (и более) деталей при относительном их расположении на охватываемой детали (соответственно, центре колеса, оси вала и консольно на валу шпинделя) с учетом расчетных величин натяга (\max/\min) по соответствующей профилировке сопрягаемой поверхности в осевом сечении охватываемой детали.

Монтаж составных изделий определяется характером нагрева охватываемых деталей: электро- или газовым нагревами; индукционным, токами промышленной частоты (ТПЧ), где одним из определяющих показателей

сложности сборки соединений с натягом является точность взаимного расположения соединяемых деталей.

Для определения долговечности работы восстановленных составных изделий необходимо иметь информацию об отработанном числе циклов нагружения.

Таблица 1

Характеристика и показатели составных крупногабаритных изделий с входящими в них деталями

№ под-класса	Состав крупногабаритных составных изделий и их деталей	Геометрическая характеристика, мм	Общая масса изделия, т	Техническая характеристика изделия	Соотношение показателей, %	
					трудоемкости изготовления деталей изделия к общей трудоемкости нового изделия, %	доли массы детали к составному изделию, %
1	Зубчатое колесо редукторного привода:	$D = 1821 \dots 3926$; $D_1 = 1500 \dots 3520$; $d = 430H7 \dots 860H7$; $B = 500 \dots 1190$;	06,0... 49,2	$m = 14 \dots 28$; $Z = 5 \dots 80$; $\beta = 8 \dots 29^\circ$		
	- венец колеса				16	до 34
	- центр колеса				12	до 66
3	Шпиндель линии прокатной клетки:	$D_{min} / D_{max} = 950 / 1180$; $d_{cp} = 510 \dots 620$; $L = 9430 \dots 13085$; $d_1 = 490 \dots 600$;	26,0... 43,0	$M = 202 \dots 350$ тм		
	- головка левая (меньшая);				15	до 60
	- головка правая (большая);				17	
	- вал шпинделя				14	до 40

После окончания изучения составных изделий, относящихся к первому и третьему подклассам (табл. 1), предлагается уточненный комплекс мероприятий по восстановлению указанных деталей, относительно ранее разрабо-

танного второго подкласса [3, 6] и скорректированная классификация изделий рассматриваемого класса:

1. Классификация проводимых комплексно-технологических мероприятий: 1) ремонт, как комплекс мероприятий, при восстановлении изделия вследствие его частичного разрушения в процессе изготовления или эксплуатации; 2) восстановление, как комплекс мероприятий, по повторному использованию основных деталей составного изделия после отработки им ресурса по рабочей поверхности.

2. Классификация восстанавливаемого изделия: 1) по конструкции – состоящей из двух (или трех) основных деталей; 2) по размерам (соотношение L/D) для трех диапазонов: с L - до $1,0D$ включительно, с L - от $1,0D$ до $5,0D$ включительно и с L - свыше $5,0D$ для рассматриваемых изделий первого, второго и третьего подклассов; 3) по типоразмеру восстанавливаемого изделия - аналогичного (равновеликого) размера к принятому базовому под восстановление изделию или меньшего типоразмера относительно этого изделия; 4) по функционально-технологическим требованиям - по преобладающим режимам эксплуатации изделия (динамический, переходной и установившейся); 5) по маркам материала основных деталей составного изделия, твердости его рабочей поверхности.

3. Классификация состояния изделия: 1) по отработанному ресурсу согласно паспортным данным изделия; 2) по разрушениям (или выявленным дефектам); 3) по характеру и форме этих дефектов (износ, коррозия, проскальзывание охватывающей детали относительно охватываемой, сколы на торцах, выкрошка металла по рабочей поверхности, остаточная деформация, размеры дефектов в пределах регламентируемых норм или выше их) или конструктивных и (или) технологических отступлений; 4) по характеру разрушения изделий (усталостное или хрупкое), по типу - полное или частичное, при котором возможно повторное использование одной из основных деталей.

Рассматриваются следующие основные виды разрушений для охватывающей детали (венца, бандажа, головок) – трещинообразование по образующей впадины зуба или рабочей поверхности деталей, выкрошка рабочей поверхности, исключающая дальнейшую эксплуатацию изделия; трещинообразование в основании вилки головки шпинделя, для охватываемой детали (ось валка) – излом оси на две части на расстоянии $1/3$ длины посадочной поверхности от торца бандажа, образование трещин в зонах компенсационных пазов и сопряжения спиц с ободом и ступицей центра колеса, смещение (или проворот) венца с (или относительно) центра зубчатого колеса и т.п.

4. Классификация видов технологии демонтажа: 1) с нагревом охватываемой детали в газовых или электрических печах, в индукционных установках; 2) механическая - распрессовка, разрезка; 3) при помощи взрыва.

5. Классификация видов технологии сборки: 1) с нагревом охватываемых деталей; 2) с охлаждением охватывающих деталей; 3) с использованием

различных видов покрытий посадочной поверхности охватываемой детали (например, оси вала).

Для оценки относительной величины трудоемкости изготовления изделий рассматриваемых подклассов, были проанализированы поэлементные затраты при производстве новых основных деталей составного изделия по комплексным показателям и определена целесообразность повторного использования охватываемых деталей (центра колеса, оси вала и вала шпинделя). Оценен, например, ресурс повторного использования оси составного вала, относительно бандажа как $(1,8 - 2,15):1$. Для оценки изменения трудоемкости изготовления основных деталей изделия в рассматриваемом весовом диапазоне получены зависимости (1), (2), (3) для изделий:

I подкласса ($L > 1,0D$), на примере составного зубчатого колеса:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 3,9762x + 9,1468; R^2_1 = 1; & Y_3 &= 4,3238x - 25,213; R^2_3 = 0,9832; \\ Y_2 &= 1,5779x + 19,7; R^2_2 = 0,9596; & Y_4 &= 21,804x - 12,587; R^2_4 = 0,9978; \end{aligned} \quad (1)$$

II подкласса ($1,0D < L < 5,0D$) [6], на примере составного прокатного вала:

$$\begin{aligned} Y_5 &= -0,1323x + 53,981; R^2_5 = 0,6183; & Y_8 &= -0,0339x + 5,0506; R^2_8 = 0,68; \\ Y_6 &= -0,0106x + 25,302; R^2_6 = 0,0058; & Y_9 &= 0,0127x - 0,2406; R^2_9 = 0,8537; \\ Y_7 &= 0,1443x + 14,82; R^2_7 = 0,6888; & Y_{10} &= -0,0035x + 2,0352; R^2_{10} = 0,1002. \end{aligned} \quad (2)$$

III подкласса ($L > 5,0D$), на примере составного шпинделя линии прокатной клетки:

$$\begin{aligned} Y_{11} &= 20,01x + 113,35; R^2_{11} = 1; & Y_{14} &= 8,1x + 154,6; R^2_{14} = 1; \\ Y_{12} &= 22,8x + 129,2; R^2_{12} = 1; & Y_{15} &= 91,47x + 247,31; R^2_{15} = 1; \\ Y_{13} &= 29,8x + 100; R^2_{13} = 1; \end{aligned} \quad (3)$$

где Y – трудоемкость: • венца (бандажа) зубчатого колеса (Y_1); • центра колеса (Y_2); • при сборке этого изделия (Y_3); • при окончательной механической обработке составного зубчатого колеса (Y_4); • оси вала (Y_5); • бандажа вала (Y_6); • при окончательной механической обработке составного прокатного вала (Y_7); • пробки оси вала (Y_8); • при слесарных и сборочных работах прокатного вала (Y_9, Y_{10}), соответственно; • меньшей головки шпинделя (Y_{11}); • большей головки шпинделя (Y_{12}); • вала шпинделя (Y_{13}); • при сборке изделия (Y_{14}); • при окончательной механической обработке составного шпинделя (Y_{15}); x – общая масса рассматриваемого составного изделия, т; R^2_n – величина достоверности аппроксимации приведенных уравнений.

Руководствуясь вышеуказанными зависимостями, проводится предварительная оценка прогнозируемой трудоемкости технологии восстановления изделия. В процентном соотношении установлена трудоемкость изготовления новых деталей от общей на составные изделия, имеющих массу 20...120 тонн: на уровнях 37-54% – для охватываемых деталей и 17-34% – для охватывающих.

При увеличении типоразмера составного изделия и, как следствие, его массы, отмечается тенденция в изменении трудоемкости основных деталей: при производстве охватываемых деталей трудоемкость - возрастает на 14%; охватывающих - уменьшается на 12%; на заключительном этапе окончательной механической обработки составного изделия отмечается снижение трудоемкости до 3%. Это позволяет дифференцированно подходить к реализации разработанных технологических схем восстановления изделий.

Отработавшие ресурс моноблочные изделия при наличии дефектов в зависимости от их формы и величины могут быть использованы повторно при учете технических возможностей их устранения. В процессе технологического цикла (при выполнении комплекса технологических операций) допускается корректирование процесса восстановления моноблочного изделия аналогичной конструкции в составном варианте. Например, вариантами восстановления составных изделий как второго (прокатный валок), так и третьего (шпиндель линии прокатной клетки) подклассов могут быть следующие комбинации применения основных деталей: в качестве оси валка используется ось, изготовленная из моноблочного валка, а в качестве вала шпинделя – используется изготовленный из моноблочного шпинделя вал с последующей их сборкой с изготовленными новыми деталями, соответственно: с бандажом и головками шпинделя.

Перечень базовых операций, определяющих технологический процесс восстановления моноблочных изделий в составном варианте для второго и третьего подклассов следующий: 1) демонтаж отработавших ресурс или вышедших из эксплуатации вследствие нерегламентируемой ситуации деталей составных изделий; 2) производство новых заготовок для охватывающих деталей - бандажа - для составного валка; двух головок – для шпинделя; 3) изготовление из отработавших ресурс моноблочных деталей (в частности, прокатного валка и шпинделя линии прокатной клетки) охватываемых деталей (соответственно, оси валка и вала шпинделя); 4) проведение комплекса термических, механических и вспомогательных операций при их изготовлении; 5) выполнение монтажа и сборки указанных деталей с последующей окончательной механической обработкой восстановленных изделий в комбинации: «новая охватывающая деталь и повторноиспользуемая, охватываемая деталь, изготовленная из моноблочного изделия».

На примере восстановления составного зубчатого колеса приведена схема повторного использования аналогичного типоразмера составного изделия, относящегося к первому подклассу (рис. 1). Особенностью приведенной технологии восстановления указанных колес является выполнение дополнительной механической обработки внутренних поверхностей компенсационных пазов, объем которых определяется после изучения их состояния и определения величины съема деформированного слоя металла на боковых внутренних и переходных поверхностях, радиус которых корректируется после выполнения прочностного расчета.

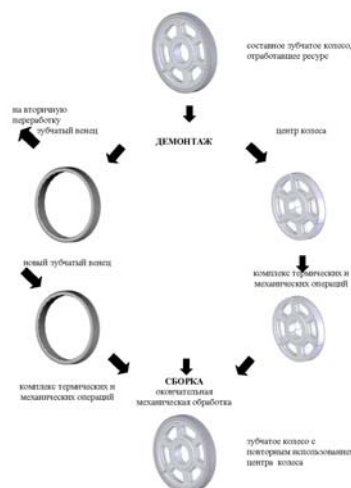


Рис. 1. Общая схема технологического цикла восстановления крупногабаритных составных изделий первого подкласса (вариант А)

На рис. 2 приведены схемы восстановления составного и моноблочного изделий третьего подкласса.

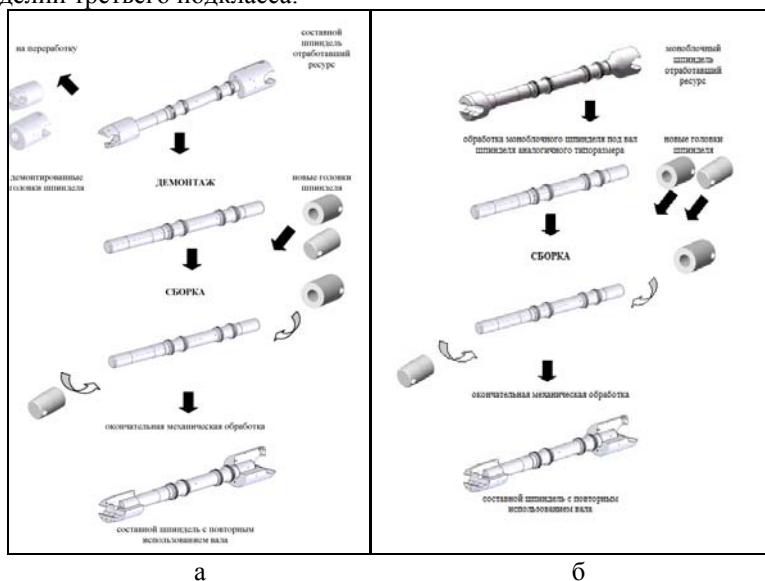


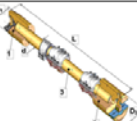


Рис. 2. Общая схема технологического цикла восстановления крупногабаритных составных изделий третьего подкласса: а - моноблочный шпиндель (вариант А), б – составной шпиндель линии прокатной клетки (вариант В)

Обобщенные геометрические и функциональные показатели рассматриваемого класса восстанавливаемых крупногабаритных тяжеловесных изделий приведены в таблице 2.

Таблица 2
Геометрические и функциональные показатели составных крупногабаритных изделий

№ п/п	Наименование составного изделия	Габаритные размеры, мм		Диаметр поперечной поверхности d, мм	Масса, т			Базовые параметры (или показатели)			Соотношение L/D	Общие схемы изделий - представителей подклассов
		наружный диаметр D	общая длина L(B)		бадья, гусенок, шпандар, мачины/бодья	центр колеса, оси вала, вала шпандар	общая	колеса: п/л/р	валки: тип, раб. قطر, НД при толщине арт. слоя более 80 мм на D	шпандары: Мкр, мм (квал), мм		
I подкласс изделий L < 1,0 D												
1	Зубчатое колесо	1821	500	1500 (вал-вал < 1 мм)	3,14	3,16	6,3	22/80/8°	-	-	0,275	
2		2640	960	2500 (вал-вал < 1 мм)	5,77	8,85	14,6	14/17/ 20°/40°	-	-	0,364	
3		3926,96	1190	3520 (вал-вал < 1 мм)	8,85	31,5	49,2	28/125/ 25°/19°	-	-	0,303	
II подкласс изделий 1,0 D < L < 5,0 D												
4	Прокатный валок	1600	4970	1150	15,7	27,4	43,1	-	55-80	-	3,10	
5		1800	7970	1270	34,6	54,4	89,0	-	55-60	-	4,43	
		2100	8350	1535	37,7	78,3	116,0	-	55-75	-	3,98	
6		2360	10650	1750	73,6	129,4	203,0	-	50-60	-	4,51	
III подкласс изделий L > 5,0 D												
7	Шпандарная пркатного стана	1220	9430	540 (валок вал)	-	-	26,5	-	-	273	7,73	
		950/1180	8505	490 H8/U8 (вал-вал < 1 мм)	5,6 / 10,6	10,2	31,8	-	-	230 (350 макс)	8,95 / 7,21	
9		985/1150	13085	600 H8/U8 (вал-вал < 1 мм)	5,8 / 9,2	27,7	42,7	-	-	202 (343 макс)	13,28 / 11,38	

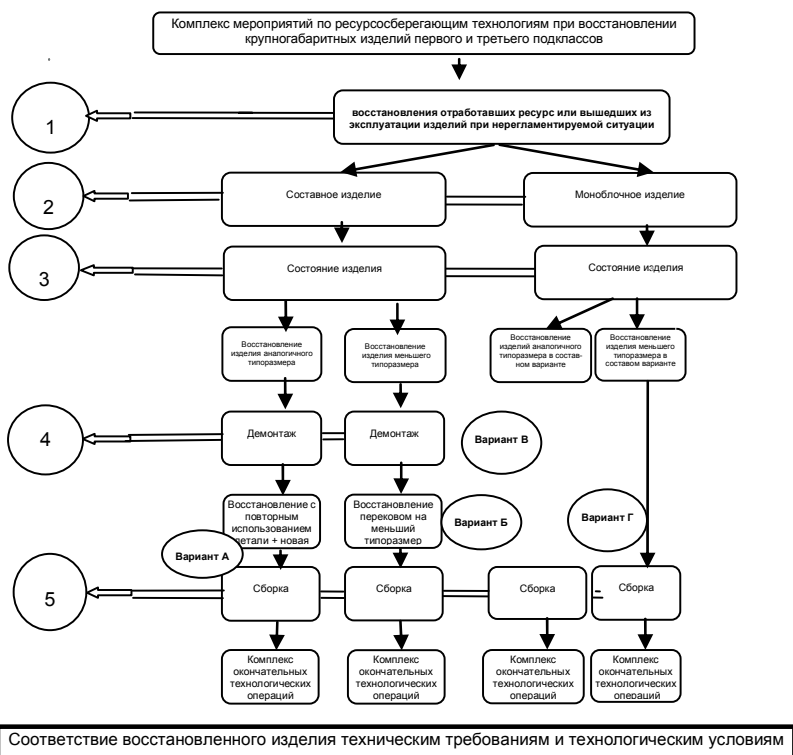


Рис. 3. Общая схема технологического цикла восстановления крупногабаритных составных изделий первого и третьего подклассов

Список литературы. 1. Справочник единой номенклатуры промышленной продукции, изготавливаемой предприятиями Минтяжмаша / Утв. начальником ПЭУ Л.А. Бусяцкой - М.: 1984. - 176 с. 2. Государственный комитет СССР по стандартам. Классификатор ЕСКД. Классы 71,72,73,74,75,76. Иллюстрированный определитель деталей. Пояснительная записка. М.: Издательство стандартов. 1986. - 38с. 3. Лебедь В.Т. «Общие положения технологии восстановления крупногабаритных прокатных валков» / Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2008 Вип. 36.- с. 94-101. 4. Лагода А.Н. Система классификации и кодирования информации в ремонтных технологиях / Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Збірник наукових праць. - Харків: НТУ «ХПІ» 2006.- №33.- с. 63 - 69. 5. Технические условия погрузки и крепления грузов/ Министерство путей сообщения. Изданы в соответствии с Уставом железных дорог Союза ССР (с изм. и доп. по состоянию на 1 января 1988г.).- М.- Транспорт.1988.- 408с. 6. Лебедь В.Т. Технология восстановления крупногабаритных составных прокатных валков / Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. - К.: НТУУ «КПИ» - 2007.- №52.- с. 66 - 77. 7. Обработка крупногабаритных деталей / Г.Э. Таурит, Е.С. Пуховский, Е.Ю. Грищенко. - К.: Техніка, 1981.- 208 с.

Поступила в редколлегию 07.01.09